第47卷 第4期
2024年4月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 4
Apr. 2024

黄河流域城市创新能力测度及空间分异研究

吴 尚， 翟 彬， 程利莎
（河南大学地理与环境学院，河南 开封 475000）

摘 要：创新在全国现代化建设全局中占据核心地位，城市是创新活动开展的主体区域，科学测度城市创新能力对于提升城市竞争力及制定创新战略具有重要价值。以黄河流经区域中的48个城市作为研究对象，从人才培养能力、科技研发能力、经济支撑能力和环境服务能力4个维度构建了城市创新评价指标体系，运用熵权法、Jenks Natural Breaks分类法、基尼系数、Moran's *I* 等数据分析方法，测度了黄河流域城市创新能力，分析了黄河流域城市创新水平的空间分异及主要障碍因素。结果表明：(1) 黄河流域整体创新能力不高，少数高值城市与其余城市之间得分差距显著，创新能力呈现上、中、下游阶梯式递增趋势。(2) 以朔州—陇南为线，城市创新能力呈现出东南高西北低的分布状态，且各维度的空间分布与总创新能力趋于一致。(3) 黄河流域城市创新能力分布处于较不均衡状态，空间集聚特征表现为正向的空间关联，主要属于低值集聚的空间模式。(4) 科技研发能力与人才培养能力对黄河流域城市创新能力的提高影响程度较大，其中有效发明数是各城市共同的障碍指标。

关 键 词：创新能力测度；空间分异；障碍度；黄河流域
文章编号：1000－6060(2024)04－0720－13(0720～0732)

创新是引领经济社会发展的第一动力，城市作为创新活动的承载区域，衡量其竞争力的关键就是衡量其创新能力，党的二十大报告明确提出坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位。黄河流域是中国重要的生态屏障和经济地带，在中国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位[1]，在2021年中共中央、国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》文件当中亦明确指出，加大该区域科技创新投入力度，提升科技创新支撑能力[2]。

创新体系最早是从国家高度入手，在此之后转向对区域的创新体系研究。Charles Landry在《The creative city》中较完整地提出了城市创新活力测度体系，Landry认为活力是一个城市为了生存而聚集的基本能力[3]。Florida从理论出发提出3T要素，即人才、技术、包容对创新城市发展的推动作用，此后学者从实证角度不断完善3T理论[4]。James Simmie从集聚经济的角度对斯图加特、米兰、阿姆斯特丹、巴黎和伦敦5个典型欧洲城市进行研究，认为城市创新有5大重点：企业积聚、产业集聚、科学家集中、专业知识和技术以及对外交流[5]。

国内学者的评价指标体系可以分为3种类型：一是从投入-产出角度出发，如范柏乃等[6]从技术创新投入能力、产出能力、配置能力、支撑能力和管理能力5个方面来测度和分析城市技术创新能力；乔章凤等[7]从城市科技创新投入能力、创新产出能力，创新环境支撑和基础创新支撑4个方面入手，构建城市科技创新能力测度体系；张建伟等[8]聚焦创新产出，以专利授权量单个指标来表征创新产出，对江苏省县域创新产出进行空间计量经济分析。二是从创新能力构成要素方面出发，如谢科范等[9]认为城市创新能力是一种综合能力，需要以城市的经

收稿日期：2023-06-21； **修订日期**：2023-10-21
基金项目：国家自然科学基金青年项目(42301239)资助
作者简介：吴尚(2001-)，女，硕士研究生，主要从事城市与区域发展等方面的研究. E-mail: shangshang@henu.edu.cn
通讯作者：程利莎(1993-)，女，讲师，主要从事城市与区域发展等方面的研究. E-mail: chengls487@163.com

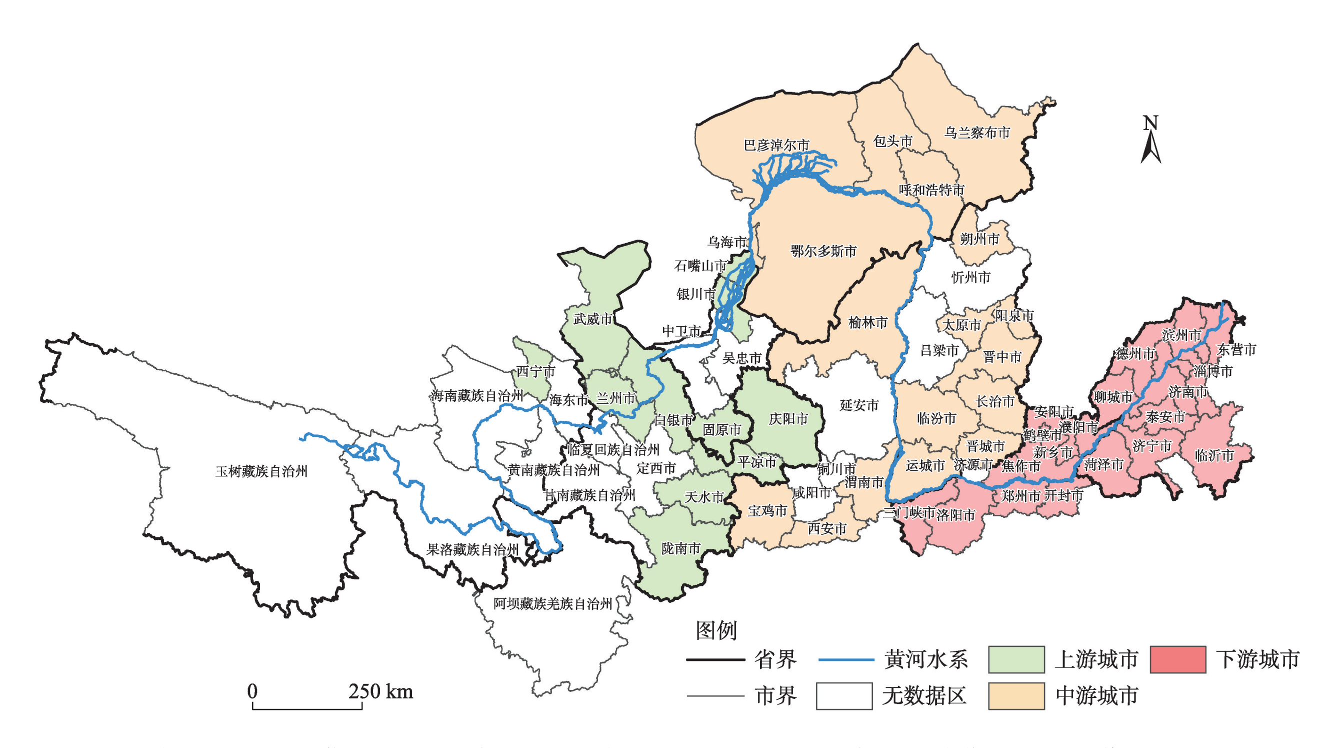
济基础、社会科研、教育文化及技术环境4个方面来构成其支撑体系；倪鹏飞等[10]构建城市创新能力结构方程，将指标分为外源变量和内生变量2种类型，重点分析了城市创新系统的关键因素和影响机制。三是从创新能力定义及创新系统功能出发，如段利忠等[11]用灰色聚类分析法从知识创新能力、技术创新能力、制度创新能力、服务创新能力及宏观发展水平5个维度评价城市创新能力；张立柱等[12]将城市创新能力细化为知识创新、技术创新、政府行为和服务创新4种能力，并建立相应的测度指标；周灿等[13]从知识创新能力、技术创新能力及创新基础环境3个方面概括城市创新能力。

国内关于流域尺度的创新能力研究集中在黄河流域、长江流域和淮河流域。曾刚等[14]分析了2006—2018年黄河流域城市技术创新和绿色发展水平的时空演变，并探讨了技术创新对绿色发展的影响机理，认为黄河流域城市技术创新的提升对绿色发展的影响先抑后扬，与其对邻近城市的影响刚好相反；武晓静等[15]以长江经济带城市为研究对象，分析了2000—2014年其创新能力的空间分布和演变；徐维祥等[16]以长江经济带的中心城市为研究对象，重点关注创新产出的时空演变，并分析其成因；曹玉华等[17]以淮河生态经济带为研究对象，构建指标体系分析其综合发展水平及区域差异，认为淮河生态经济带总体发展水平不高，并提出强化其创新驱动等发展策略。

我国学者在进行这类研究时往往更加关注创新水平本身就比较高的省会城市或东部沿海城市[18]，而对于欠发达地区城市较少着墨，难以有效支撑国家或区域的全面创新发展。黄河流域地域范围广阔，贯穿东中西，涉及城市既有发达城市又有欠发达城市。因此，本文以黄河流域城市为研究对象对于全国多数城市创新发展具有参考意义。

1　研究区概况

黄河从上游至下游依次经过青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南及山东9省区，2020年，9省区的人口及GDP总量分别占全国的29.8%、24.5%，在我国经济社会发展中有着重要地位，但生态环境脆弱，人口、资源、环境矛盾突出，整体发展质量不高。本文以《黄河年鉴》为参考依据，选取65个地级行政单元为黄河流域城市范围，具体范围见下图1。其中部分自治州及地级市数据缺失严重，予以剔除，最终确定48个地级市为本文具体研究区域，并参照黄河水系上游、中游、下游河段的划分，



注：该图基于国家地理信息公共服务平台网站下载的审图号为GS(2020)4630号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1　黄河流域示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the Yellow River Basin

将研究区域划分3段，上游区域为西宁市至固原市，中游区域为呼和浩特市至临汾市，下游区域为郑州市至菏泽市。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文数据的主要来源为《2021中国城市统计年鉴》，部分来自青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东9省区的统计年鉴、各市统计局官方网站、2020年国民经济和社会发展统计公报，同时由于一些城市数据的缺乏，没有2020年的相应所需数据，采用相邻年份的数据进行替代。

2.2 研究方法

（1）构建指标体系

在理想情况下，评价指标体系要求既能覆盖评价对象的全部特征又能保证指标间完全线性无关，但实际操作中不可能达到这种理想状态，因此，指标数量过大会导致重叠的可能性加大，指标数量过小会导致测度结果片面，本文通过建立指标的分层结构保证准测层及指标间的独立性，避免指标间的相互交叉。通过对文献的研究整理，发现较多学者基于创新能力的定义将评价指标体系分解为知识、技术、经济和环境4个层面[18-19]，本文从科学性、典型性、主导性、可获取性和可量化性5大指标选取原则出发，构建了涵盖人才培养能力、科技研发能力、经济支撑能力和环境服务能力4个维度，共24个指标的测度体系。人才培养能力是创新能力的根本，科技研发能力是创新能力的核心，经济支撑能力和环境服务能力是创新能力不可或缺的基础要素，具体指标见表1。

（2）指标数值预处理

通常使用的无量纲化处理方法有 *Z* 计分、极差标准化法、向量规范法等，不同的方法有其适用范围，需要根据数据性质和研究目标来选择，本文使用熵权法对指标进行赋权，参照朱喜安对于熵权法中无量纲化方法的探讨，认为熵权法在实际运用中更倾向于选择极差标准化，其适用性要优于其他方

表1 城市创新能力测度指标体系

Tab. 1 Indicator system for measuring urban innovation capacity

目标层	准则层	指标层		单位	正负向	权重
城市创新能力	人才培养能力	C_1	普通高等学校数量	所	+	0.061
		C_2	普通高等学校在校学生数	人	+	0.062
		C_3	普通高等学校教师数	人	+	0.064
		C_4	公共图书馆藏书量	10^4册	+	0.083
		C_5	教育支出占地方财政支出比例	%	+	0.008
		C_6	科技从业人员占就业人员比例	%	+	0.033
	科技研发能力	C_7	专利授权数	件	+	0.059
		C_8	有效发明数	件	+	0.081
		C_9	R&D人员数	人	+	0.055
		C_{10}	R&D机构数	个	+	0.058
		C_{11}	R&D经费内部支出	10^4元	+	0.063
		C_{12}	科技经费占地方财政支出比例	%	+	0.028
	经济支撑能力	C_{13}	人均GDP	10^4元	+	0.015
		C_{14}	货物出口额	10^4元	+	0.088
		C_{15}	货物进口额	10^4元	+	0.083
		C_{16}	城镇居民人均可支配收入	元	+	0.013
		C_{17}	规模以上工业企业流动资产	10^4元	+	0.027
		C_{18}	年末金融机构人民币各项存款余额	10^4元	+	0.040
	环境服务能力	C_{19}	城镇常住人口	10^4人	+	0.030
		C_{20}	城镇化率	%	+	0.006
		C_{21}	规模以上工业企业数	个	+	0.029
		C_{22}	第三产业增加值占GDP比重	10^4元	+	0.008
		C_{23}	建成区绿化覆盖率	%	+	0.002
		C_{24}	污水处理厂集中处理率	%	+	0.003

法[19]，因此选择极差标准化消除量纲，公式如下：

正向指标 $$X'_{ij}=\frac{x_{ij}-m_j}{M_j-m_j} \quad (1)$$

逆向指标 $$X'_{ij}=\frac{M_j-x_{ij}}{M_j-m_j} \quad (2)$$

式中：X'_{ij} 为第 i 个城市、第 j 个指标的标准化数值；X_{ij} 为第 i 个城市、第 j 个指标的原始数值；M_j 为第 j 个指标 x_{ij} 的最大值；m_j 为第 j 个指标 x_{ij} 的最小值。

（3）熵权法

为了使权重在确定过程中产生的主观影响及各指标间产生的客观影响尽可能降至最小，本文运用熵权法对各评价指标进行赋权（表1），其优点是可避免主观因素的干扰，以指标的重要程度为赋权依据。在构成的指标数据矩阵中，数据的离散度越小，熵值越大，所提供的信息量越小，该指标对总体评价的影响越小，相应权重越小，反之权重就越大[20]。

（4）基尼系数（G）

城市之间创新能力的差异程度需要科学定量地衡量，本文使用基尼系数进行测度，基尼系数能够直接反映出区域创新水平间的不平等程度，公式如下：

$$G=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|U_i-U_j\right|}{2n^2\bar{U}} \quad (3)$$

式中：n 为城市总数；U_i 、U_j 分别为所评价城市中任意2个创新能力综合得分；$\bar{U}$ 为城市创新能力综合得分的平均值。

（5）莫兰指数（Moran's I）

为了测度黄河流域城市创新能力在空间上的集聚状态，引入Moran's I 的概念。Moran's I 和Geary系数是2个度量空间自相关的全局性指标，两者之间存在负相关关系，参考1987年Grifith提出的应用模拟实验，结果表明两者都可以进行空间自相关的全局评估，基本可以互相替代，相比较而言Moran's I 更不易偏离正态分布，因此本文选择更具适用性的Moran's I[21]。具体Moran's I 计算公式如下：

$$\text{Moran's } I=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{n}Z_{ip}\left(U_i-\bar{U}\right)\left(U_p-\bar{U}\right)}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}Z_{ip}} \quad (4)$$

$$S^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(U_i-\bar{U}\right)^2$$

式中：U_i 、U_p 分别为区域 i 、区域 p 的观测值；Z_{ip} 为所选城市 i 和所选城市 p 两者之间的空间权重值；S 为所有空间权重的聚合。

（6）障碍度模型

为了找出限制黄河流域城市创新能力进一步提升的关键因素，使用障碍度模型，通过障碍度的大小判断障碍因素的影响程度，具体计算公式如下：

$$O_{ij}=\frac{F_jD_{ij}}{\sum_{j=1}^{m}F_jD_{ij}} \quad (5)$$

$$V_{ij}=\sum O_{ij} \quad (6)$$

式中：O_{ij} 为指标层障碍度；F_j 为单项指标对总目标的权重，$F_j=W_j\times W_r$，W_j 为指标权重，W_r 为准则层权重，由其各项指标的权重加和得到；D_{ij} 为指标偏离度，表示单项指标与总评价目标之间的差距，$D_{ij}=1-x'_{ij}$；V_{ij} 为准测层对城市创新能力的障碍度。

3　结果与分析

3.1　城市创新能力得分

基于熵值法计算得出黄河流域各城市创新能力评价指标的权重，进一步算出2020年所选48个城市的创新能力得分，及人才培养能力、科技研发能力、经济支撑能力及环境服务能力4个维度的得分情况，结果如下表2所示。

如表2所示，黄河流域48个城市综合创新能力得分的平均值为0.139，排名第一的西安市得分为0.849，排名末尾的陇南市得分0.023，平均值更偏向于低值城市的得分情况，对于黄河流域城市来说，整体的创新能力并不高，低值城市数量较多使整体得分偏低，存在两级分化现象。可能的原因在于黄河流域本身人口与资源的矛盾、产业升级转型的困难等一系列问题使得创新能力难以提高，高质量发展进程缓慢，且西安市、郑州市等省会城市正处在极化效应大于涓滴效应的阶段，各种生产要素向发达城市移动加上政策的倾斜，造成两极分化现象。

具体来看，西安市、郑州市、济南市3个城市的创新能力较强，得分分别是0.849、0.767和0.516，整体与其余各城市创新能力差距较大，其余城市皆处于低水平均衡状态。陇南市、乌兰察布市、庆阳市分别为0.023、0.030、0.031，排名倒数后三位，创新能力较弱。分维度来看，4个维度的排序和城市创新

表2 黄河流域城市创新能力得分及各维度得分

Tab. 2 Scores of innovation capacity of cities in the Yellow River Basin and scores of each dimension

分段	城市	城市创新能力		人才培养能力		科技研发能力		经济支撑能力		环境服务能力	
		得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
上游地区	西宁市	0.080	28	0.036	12	0.009	33	0.015	36	0.019	26
	兰州市	0.200	8	0.085	5	0.053	12	0.034	15	0.028	14
	白银市	0.039	42	0.013	35	0.005	40	0.010	43	0.010	46
	天水市	0.049	38	0.022	20	0.006	39	0.006	45	0.015	34
	武威市	0.037	44	0.014	33	0.005	41	0.006	46	0.012	42
	平凉市	0.033	45	0.016	32	0.002	47	0.004	47	0.011	45
	庆阳市	0.031	46	0.012	37	0.004	43	0.007	44	0.008	48
	陇南市	0.023	48	0.009	43	0.003	45	0.001	48	0.010	47
	银川市	0.120	17	0.045	8	0.027	22	0.027	21	0.021	22
	石嘴山市	0.050	37	0.008	44	0.015	27	0.013	40	0.015	36
	固原市	0.072	30	0.013	36	0.007	38	0.041	11	0.012	43
中游地区	呼和浩特市	0.157	13	0.065	6	0.033	18	0.035	14	0.025	16
	包头市	0.106	20	0.036	11	0.007	37	0.040	12	0.023	19
	乌海市	0.042	41	0.002	48	0.007	36	0.021	25	0.011	44
	鄂尔多斯市	0.084	24	0.010	41	0.009	34	0.047	10	0.017	30
	巴彦淖尔市	0.038	43	0.004	47	0.003	44	0.018	29	0.013	39
	乌兰察布市	0.030	47	0.007	45	0.001	48	0.011	42	0.012	40
	西安市	0.849	1	0.279	1	0.309	1	0.203	2	0.059	2
	宝鸡市	0.080	27	0.017	27	0.022	25	0.023	24	0.018	29
	渭南市	0.064	33	0.016	31	0.014	28	0.015	37	0.019	28
	榆林市	0.081	25	0.020	22	0.010	32	0.032	17	0.019	25
	太原市	0.314	4	0.116	4	0.076	5	0.088	5	0.033	9
	阳泉市	0.047	39	0.011	39	0.005	42	0.016	32	0.015	35
	长治市	0.072	29	0.018	25	0.013	30	0.025	22	0.017	31
	晋城市	0.060	35	0.006	46	0.013	29	0.024	23	0.016	32
	朔州市	0.043	40	0.009	42	0.003	46	0.016	34	0.016	33
	晋中市	0.098	23	0.048	7	0.011	31	0.018	31	0.021	21
	运城市	0.070	31	0.020	21	0.015	26	0.015	35	0.020	23
	临汾市	0.056	36	0.019	23	0.008	35	0.016	33	0.013	38
下游地区	郑州市	0.767	2	0.217	2	0.234	2	0.254	1	0.062	1
	开封市	0.102	22	0.025	18	0.039	17	0.014	38	0.024	17
	洛阳市	0.220	5	0.039	10	0.104	4	0.038	13	0.039	6
	安阳市	0.103	21	0.030	14	0.033	19	0.018	30	0.023	20
	鹤壁市	0.062	34	0.010	40	0.028	21	0.012	41	0.012	41
	新乡市	0.161	12	0.040	9	0.069	7	0.021	26	0.032	10
	焦作市	0.111	19	0.024	19	0.043	14	0.020	28	0.024	18
	濮阳市	0.081	26	0.017	29	0.031	20	0.014	39	0.019	27
	三门峡市	0.069	32	0.012	38	0.022	24	0.020	27	0.014	37
	济南市	0.516	3	0.147	3	0.194	3	0.122	3	0.052	4
	淄博市	0.203	7	0.028	16	0.073	6	0.066	6	0.036	8
	东营市	0.182	10	0.018	24	0.045	13	0.100	4	0.019	24
	济宁市	0.186	9	0.033	13	0.064	10	0.048	9	0.041	5
	泰安市	0.133	15	0.030	15	0.042	15	0.032	19	0.029	13
	临沂市	0.210	6	0.027	17	0.067	9	0.059	8	0.057	3
	德州市	0.139	14	0.017	28	0.061	11	0.030	20	0.030	12
	聊城市	0.122	16	0.017	26	0.042	16	0.033	16	0.030	11
	滨州市	0.171	11	0.014	34	0.068	8	0.062	7	0.027	15
	菏泽市	0.113	18	0.016	30	0.027	23	0.032	18	0.038	7

能力的顺序基本吻合，人才培养能力方面西安市和郑州市均远高于平均水平，这与高等院校师资力量的分布有很大的关系，大部分高等院校、科研院所都集中分布在省会城市。科技研发能力层面，仍然是西安市、郑州市、济南市3个城市位列前三，且与其余城市有巨大差距。在经济支撑能力方面，郑州市、西安市位列第一、二名，说明两城市有良好的经济基础，尤其是郑州市能为创新活动的展开提供充足资金支持。环境服务能力方面依旧是郑州市和西安市表现良好，值得注意的是临沂市排名上升位列第三，这表明作为鲁东南地区中心城市的临沂市有良好的创新发展前景。

进一步地，为了更好地衡量黄河流域不同流段城市创新能力的整体情况，将研究区域划分为上游、中游、下游3段区域对比分析，采用各段得分的平均值进行分析，见图2。

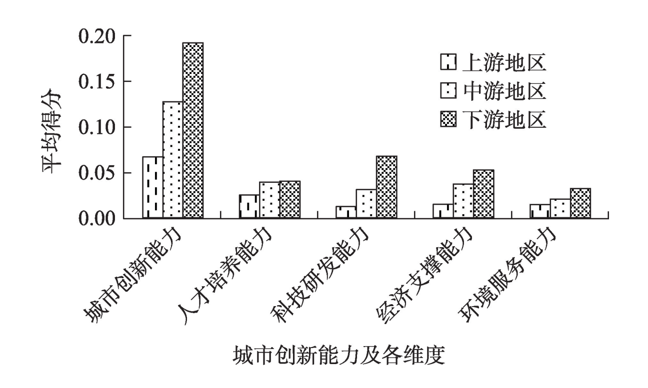


图2　黄河流域分段城市创新能力及各维度对比

Fig. 2　Comparison of innovation capacity and dimensions of cities in subsections of the Yellow River Basin

综合来看，上游地区城市综合创新能力平均得分为0.067，中游地区0.127，下游地区0.192，也就是说黄河流域创新能力呈现出从上、中、下游地区阶梯式增高的趋势，且下游城市与上游城市存在较大差距。这与曾刚等[14]关于黄河流域大部分城市技术创新能力得出的结果相吻合，技术创新在空间上不断扩散，中游和下游城市的发明专利已形成集聚，造成这种阶梯式递增趋势的可能原因在于上游地区城市生态环境脆弱，产业的竞争力较弱，下游地区本身有着良好的经济基础，且得益于中原城市群和山东半岛城市群的发展，虹吸效应显著。

分维度来看，从图2可以明显观察到4个维度的得分都是下游地区城市得分高，上游地区城市得分最低，与城市综合创新能力呈现出来的阶梯递增趋势保持一致。人才培养能力层面，3段地区城市人才培养能力相差不大，上游地区城市在人才培养方面并没有过度落后。科技研发能力层面，上游地区能力突出，与下游地区拉开差距最大，这种巨大差距表现出上游地区城市在技术创新方面的薄弱以及创新资源分布的不协调。经济支撑能力层面，下游地区城市有着良好的资金支持，而上游地区城市的经济支撑能力表现出相应的薄弱状态。环境服务能力层面，同样表现出阶梯递增趋势，但3段地区城市之间的差异较小，黄河流域整体的创新基础环境良好，创新活动的展开有良好的环境基础。

3.2　城市创新能力空间分布格局

为了直观地分析黄河流域城市创新能力的空间分布格局，本文使用ArcGIS所提供的Jenks Natural Breaks分级功能对2020年黄河流域各城市创新能力的综合得分进行分级，将选取的48个城市划分为5个类型区，分别为低水平区、较低水平区、中等水平区、较高水平区、高水平区（图3），并从4个维度展开分析（图4）。

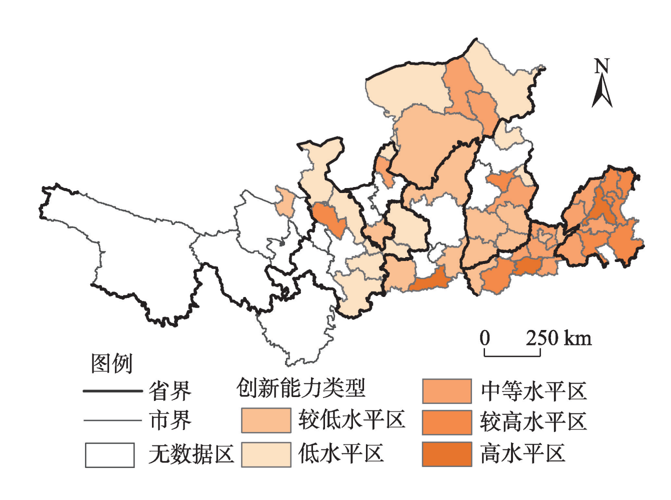


图3　黄河流域城市创新能力空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of innovation capacity of cities in the Yellow River Basin

从图3可知，在总体空间分布上，城市创新能力大体是以朔州—陇南为线，呈现东南高西北低的空间分异格局，山东、河南、山西、陕西4省整体创新水平偏高，郑州市、济南市、西安市高值城市周边的城市创新水平相对较高。相比较而言，西北部创新水平普遍偏底，且高值城市向周围城市辐射带动作用不强，比如甘肃省的兰州市，自身创新发展能力靠

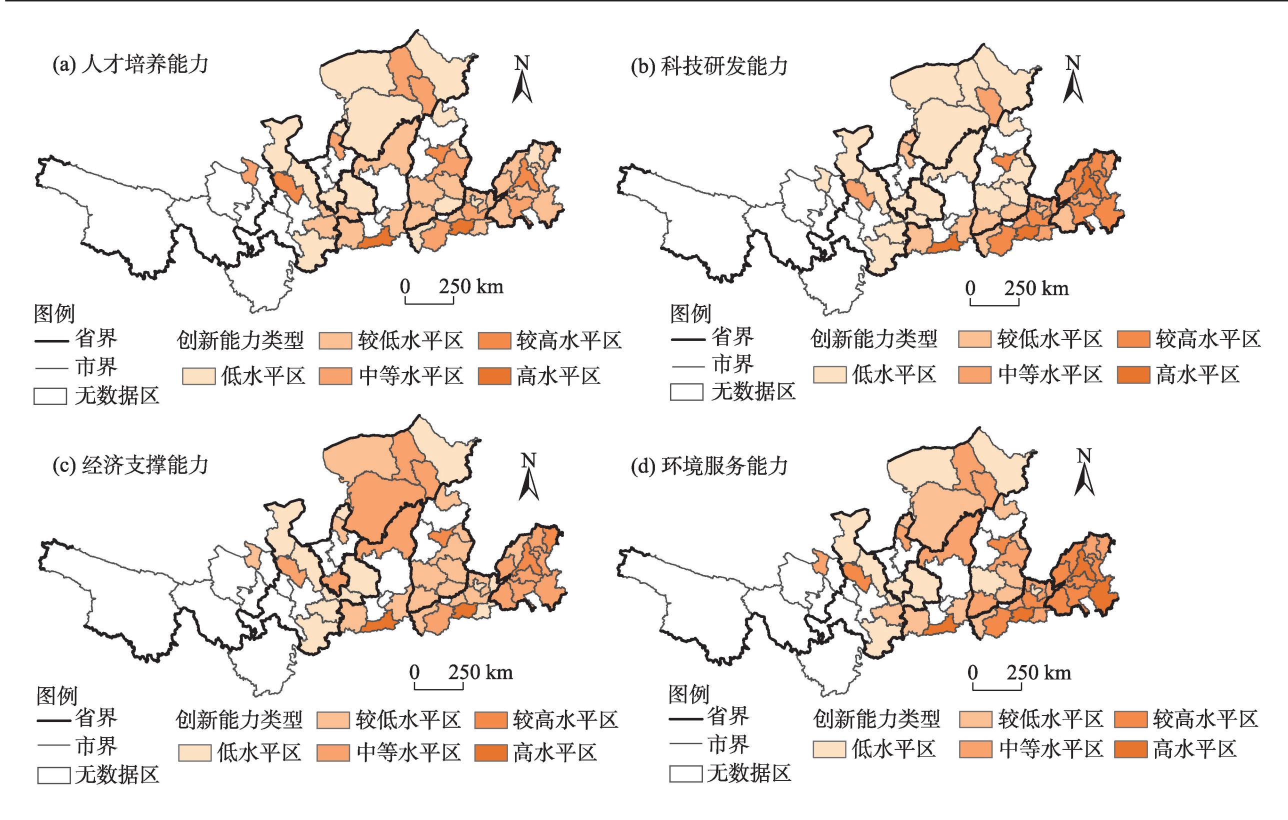


图4 黄河流域城市各维度创新能力空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of cities in the Yellow River Basin by dimension of innovation capacity

前，与其邻近的白银市、武威市却是创新能力低水平区。

从人才培养能力来看，教育资源的投入普遍集中在省会城市，且人才从中心城市向外输送的能力偏低。在科技研发能力空间分布上，东南高西北低的空间分异现象更加显著，创新资源明显集中于经济较发达的山东、河南、山西、陕西4省份，甘肃、宁夏等西北部地区在科技研发方面不够重视。经济支撑能力方面，可以明显观察到高值城市数量的增加，呼和浩特市、包头市、鄂尔多斯市等部分中部地区对创新发展有着良好的经济支撑能力。环境服务能力层面，高值城市数量相较于经济支撑能力数量有所减少，但也存在着高值城市分布从东向西的迁移，这表明在相对落后的中、西部城市有着可观的创新发展前景，供创新活动开展的环境基础良好。

3.3 城市创新能力空间差异及集聚特征

本文采用基尼系数来判断黄河流域城市创新能力的空间差异特征，计算得出黄河流域城市创新能力的基尼系数为0.474。G值介于0.4~0.5之间，黄河流域各城市之间创新能力的差距较大，这也印证了上述表中所体现的巨大数值差异及城市创新水平空间分布图所呈现的空间分异。再从4个维度来看，人才培养能力的基尼系数为0.54，科技研发能力的基尼系数为0.60，经济支撑能力的基尼系数为0.50，环境支撑能力的基尼系数为0.28，其中只有环境支撑能力的G值介于0.2~0.3之间，黄河流域城市在创新环境方面处于比较均衡的状态，其余3个维度的基尼系数都展示出较大的空间差异，尤其是科技研发能力，G值最大。当前，黄河流域各城市整体的创新资源分布并不协调，科技研发能力层面上，这种不均衡现象更加显著，人才、科技都更倾向于本身发展良好的中心城市，尤其集中在中、下游地区。

城市集聚特征方面，本文使用Geo-Da软件对2020年黄河流域各城市创新能力空间自相关状态展开分析，并绘制城市创新能力及各维度的Moran散点图、LISA分布图，其中人才培养能力的Z值未通过显著性检验，在空间分布上呈现随机性，城市总创新能力及其余3个维度的Moran散点图和LISA分布如图5~6所示，Z值依次为2.05、2.56、1.69、5.56，均通过显著性检验，Z是正值且显著说明城市创新能力、科技研发能力、经济支撑能力和环境服务能力存在正的空间自相关，相似的观测值趋于空

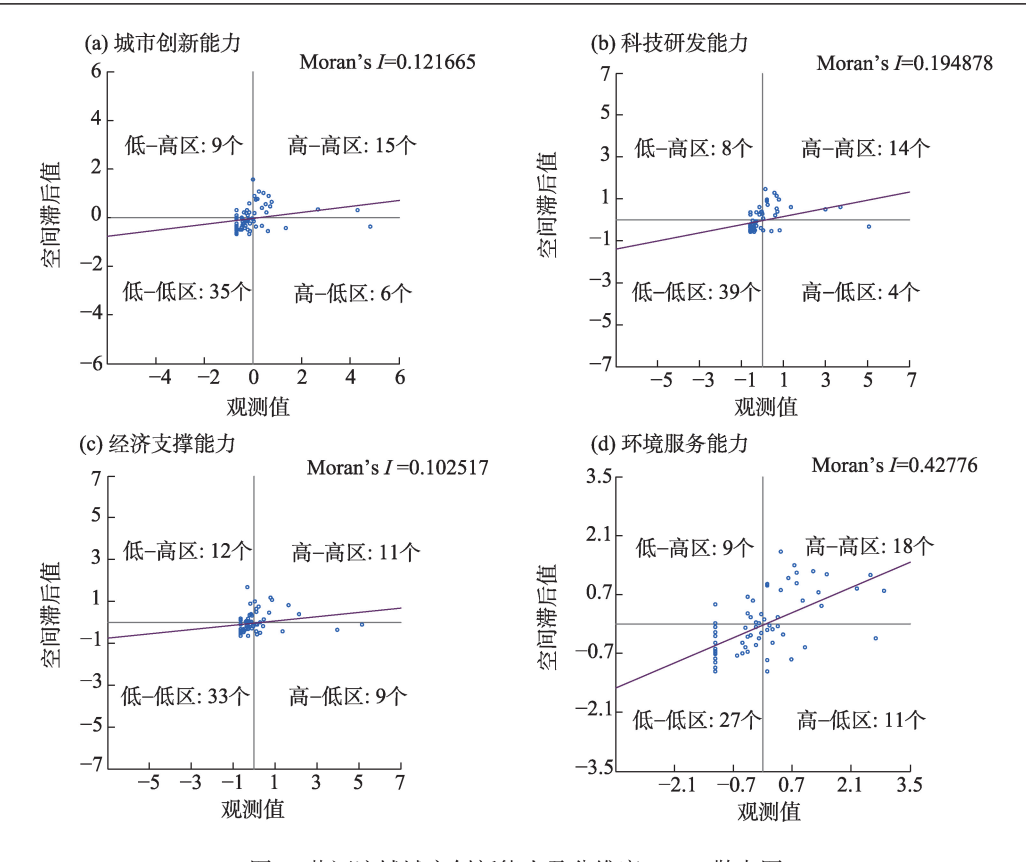


图5　黄河流域城市创新能力及分维度Moran散点图

Fig. 5　Moran's I scatterplot of innovation capacity and sub-dimension of cities in the Yellow River Basin

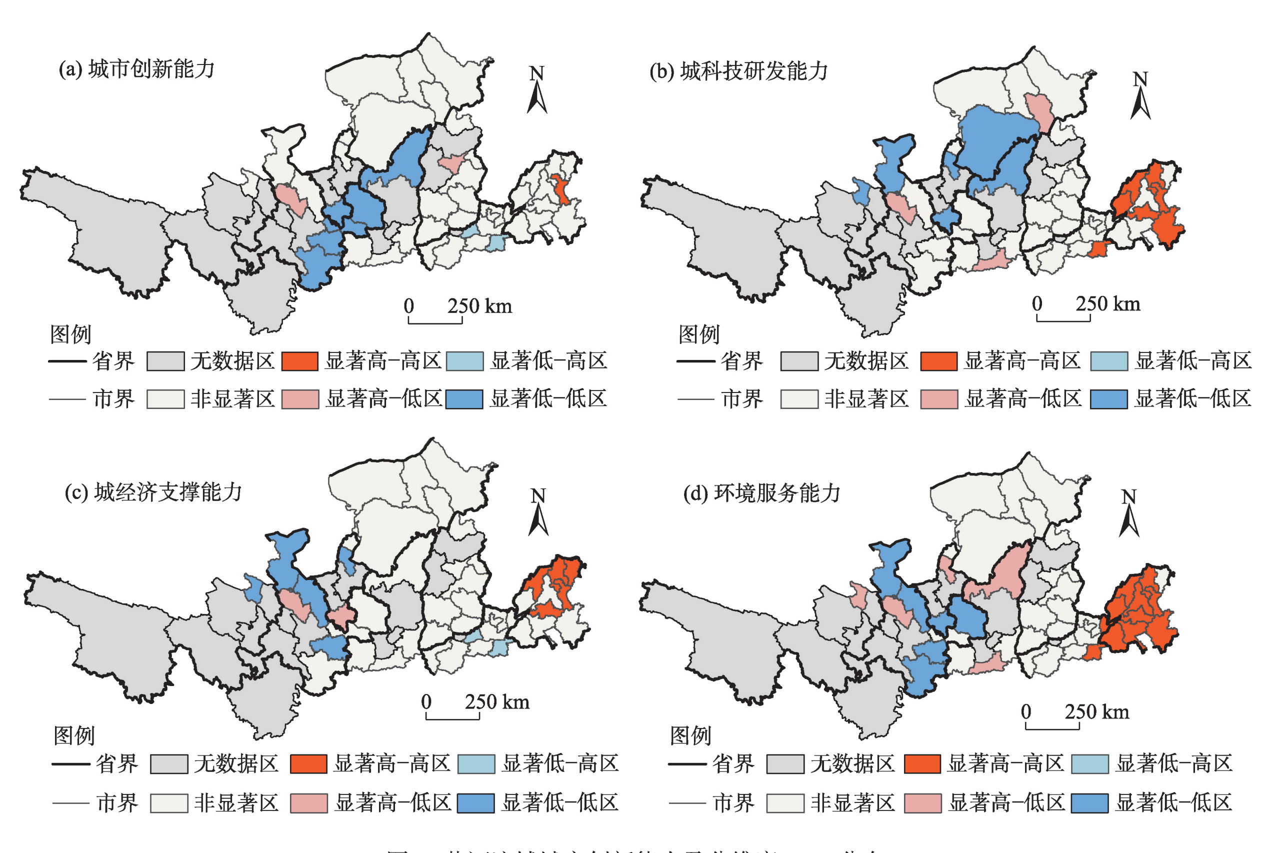


图6　黄河流域城市创新能力及分维度LISA分布

Fig. 6　LISA distribution of innovation capacity and sub-dimensions of cities in the Yellow River Basin

间集聚。

先看总体的城市创新能力,四象限内都有样本点分布,第三象限分布的点数最多最密集,其次是第一象限,表明城市之间创新能力的空间自相关方式,主要是低-低集聚,其次是高-高集聚,低-低集聚类型的城市数量远远高于高-高集聚类型,且散点图中第三象限的点最为密集,呈现非常明显的集聚特征。再分维度来看,在科技研发能力、经济支撑能力和环境服务能力3个层面上,展现出与总城市创新能力一致的正向集聚特征,四象限内皆有样本点分布,位于第三象限内的低-低集聚类型的城市数量最多,属于低值集聚的空间模式,再进一步进行局部空间自相关分析(图6)。

总的来看,城市创新能力的空间关联类型是以显著低-低区为主,在空间上连片分布且数量最多,集中于中上游地区,创新能力较低的陇南市、天水市、平凉市、庆阳市、固原市、榆林市在空间上趋于集聚,而显著高-高区只有山东省的淄博市,黄河流域城市的创新能力属于低值集聚的空间模式。逆向关联区的分布较为分散,被低值包围的高值城市有兰州市和太原市,被高值包围的低值城市有焦作市和开封市,对于这些区域的城市来说应避免过分极化造成区域发展失衡。再分维度来看,3个维度都是下游地区城市以显著高-高区为主,中上游地区城市以显著低-低区为主,这与总创新能力的LISA分布图一致,下游地区是高-高集聚,中上游地区是低-低集聚,这说明上游地区已经形成了较强的虹吸效应且发展良好的城市能够带动周边城市发展,联动形成组团。3个维度的逆向关联区分布较为分散且数量较少,主要是被低值包围的高值城市数量多。

3.4 城市创新能力主要障碍因素分析

本文使用障碍度模型计算出黄河流域48个城市各指标的障碍度,排名前五的指标作为主要障碍因素(表3)。整体来看,主要障碍因素存在一致性,且不同城市又有其特殊的障碍因素,指标层障碍度平均值排名前五的依次为有效发明数(C_8)>公共图书馆藏书量(C_4)>货物出口额(C_{14})>货物进口额(C_{15})>R&D经费内部支出(C_{11}),上、中、下游的分段平均值排名与总体一致。其中,有效发明数对黄河流域城市创新能力的发展影响程度较强,有效发明数表示统计期间内维持有效的发明专利数量,可以反映出创新活动的开展是否活跃,对于黄河流域来说各区域之间发明创造能力的不平衡是阻碍着整体创新能力提高的关键因素。准测层障碍度平均值排名依次为科技研发能力>人才培养能力>经济支撑能力>环境服务能力,其中,科技研发能力始终是首要障碍因素,障碍度为40.69%,其次是人才培养能力,障碍度为33.75%,科学技术的创新与人才的培养应当成为提升黄河流域城市创新能力的重点。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文所研究的问题是如何衡量黄河流域城市创新的整体水平,并探讨其内部的空间分异、集聚特征,以及影响黄河流域城市创新水平的主要因素。与以往发表文献结果相比,薛宝琪使用专利授权数据测度了黄河流域城市创新能力,其空间分异结果与集聚特征与本文一致[22];任贵秀等[23]同样以黄河流域城市为研究对象,使用绿色专利数据表征绿色创新水平,其空间自相关结果与本文存在一致性。但不同点也是本研究最大的创新点,本文从人才培养能力、科技研发能力、经济支撑能力、环境服务能力4个维度构建了城市创新能力测度体系,并对黄河流域城市进行了综合和分维度评价。仍需指出的是,本研究只反映黄河流域2020年的创新发展状况,并不涉及该区域连续时间段上的创新发展水平变化,且本研究仅仅是对黄河流域内部空间格局的分析,缺乏与其他流域的对比研究,分析黄河流域城市创新能力的动态演化特征,及其与长江流域、淮河流域其他城市的差距仍是今后需要努力的方向。

更进一步的,本文基于研究结果从上游落后地区、中游地区及下游发达地区3方面提出针对性政策建议,上游地区重视人才培养和基础设施建设,中游地区发挥桥梁作用,下游地区重视科技研发,具体政策建议如下:

(1) 对于上游创新能力落后地区来说,要把重点放在人才培养和提高环境服务能力上。对于这些本身经济落后的城市来说,可以通过人才的培养、引进和城市环境的提高来提升城市创新能力。因此从两方面入手,一方面要重视教育资源的投入,提高教育普及程度,利用高等学校教育资源,重

表3　黄河流域城市创新能力主要障碍因素及障碍度

Tab. 3　Main obstacles and degree of obstacles to the innovation capacity of cities in the Yellow River Basin

城市	指标排序				
	1	2	3	4	5
西宁市	C_8（10.25）	C_4（9.49）	C_{14}（8.61）	C_{15}（8.10）	C_{11}（7.57）
兰州市	C_4（10.77）	C_8（10.56）	C_{14}（9.83）	C_{15}（9.04）	C_{10}（8.07）
白银市	C_8（9.83）	C_4（8.80）	C_{14}（8.29）	C_{15}（7.60）	C_{11}（7.54）
天水市	C_8（9.93）	C_4（9.14）	C_{14}（8.31）	C_{15}（7.84）	C_{11}（7.53）
武威市	C_8（9.84）	C_4（9.05）	C_{14}（8.28）	C_{15}（7.80）	C_{11}（7.53）
平凉市	C_8（9.81）	C_4（9.00）	C_{14}（8.25）	C_{15}（7.78）	C_{11}（7.54）
庆阳市	C_8（9.80）	C_4（9.02）	C_{14}（8.25）	C_{15}（7.78）	C_{11}（7.52）
陇南市	C_8（9.64）	C_4（8.90）	C_{14}（8.18）	C_{15}（7.71）	C_{11}（7.47）
银川市	C_8（9.87）	C_4（9.69）	C_{14}（8.89）	C_{15}（8.44）	C_{11}（7.94）
石嘴山市	C_8（9.88）	C_4（9.17）	C_{14}（8.31）	C_{15}（7.87）	C_{11}（7.64）
固原市	C_8（10.16）	C_4（9.34）	C_{14}（7.94）	C_{11}（7.81）	C_7（7.29）
呼和浩特市	C_4（10.13）	C_{14}（9.41）	C_{15}（8.55）	C_8（8.35）	C_{11}（8.30）
包头市	C_8（10.38）	C_{14}（8.63）	C_{11}（8.04）	C_{15}（7.94）	C_7（7.51）
乌海市	C_8（9.75）	C_4（9.10）	C_{14}（8.30）	C_{15}（7.84）	C_{11}（7.60）
鄂尔多斯市	C_8（10.15）	C_4（9.21）	C_{14}（8.57）	C_{15}（8.05）	C_{11}（7.87）
巴彦淖尔市	C_8（9.79）	C_4（9.04）	C_{14}（8.21）	C_{11}（7.54）	C_{15}（7.16）
乌兰察布市	C_8（9.75）	C_4（8.99）	C_{14}（8.14）	C_{15}（7.72）	C_{11}（7.50）
西安市	C_{14}（22.74）	C_{12}（16.08）	C_2（15.26）	C_{10}（8.49）	C_{15}（8.09）
宝鸡市	C_8（10.09）	C_4（9.32）	C_{14}（8.54）	C_{15}（7.97）	C_{11}（7.46）
渭南市	C_8（9.93）	C_4（9.15）	C_{14}（8.44）	C_{15}（7.99）	C_{11}（7.57）
榆林市	C_8（9.91）	C4（9.29）	C_{14}（8.60）	C_{15}（8.11）	C_{11}（7.80）
太原市	C_4（11.70）	C_8（10.90）	C_{11}（9.68）	C_{10}（8.76）	C_{14}（8.69）
阳泉市	C_8（9.88）	C_4（9.12）	C_{14}（8.32）	C_{15}（7.83）	C_{11}（7.51）
长治市	C_8（10.10）	C_4（9.21）	C_{14}（8.55）	C_{15}（8.33）	C_{11}（7.80）
晋城市	C_8（10.00）	C_4（9.16）	C_{14}（8.42）	C_{15}（7.75）	C_{11}（7.53）
朔州市	C_8（9.85）	C4（9.06）	C_{14}（8.29）	C_{15}（7.80）	C_{11}（7.57）
晋中市	C_8（10.35）	C_4（9.42）	C_{14}（8.75）	C_{15}（8.28）	C_{11}（7.88）
运城市	C_8（10.03）	C_4（9.24）	C_{14}（8.47）	C_{15}（7.91）	C_{11}（7.47）
临汾市	C_8（9.98）	C_4（9.04）	C_{14}（8.39）	C_{15}（7.95）	C_{11}（7.46）
郑州市	C_4（30.16）	C_8（23.79）	C_{11}（13.48）	C_9（11.60）	C_6（8.64）
开封市	C_8（10.23）	C_4（9.60）	C_{14}（8.68）	C_{15}（8.29）	C_{11}（7.65）
洛阳市	C_8（10.64）	C_4（10.53）	C_{14}（9.56）	C_{15}（9.48）	C_3（7.49）
安阳市	C_8（10.32）	C_4（9.50）	C_{14}（8.79）	C_{15}（8.18）	C_{11}（7.55）
鹤壁市	C_8（10.06）	C_4（9.33）	C_{14}（8.43）	C_{15}（8.04）	C_{11}（7.67）
新乡市	C_8（10.60）	C_4（10.23）	C_{14}（9.18）	C_{15}（8.87）	C_{11}（7.51）
焦作市	C_8（10.21）	C_4（9.68）	C_{14}（8.62）	C_{15}（8.29）	C_{11}（7.52）
濮阳市	C_8（9.81）	C_4（9.28）	C_{14}（8.55）	C_{15}（7.98）	C_{11}（7.62）
三门峡市	C_8（10.15）	C_4（9.29）	C_{14}（8.51）	C_{15}（7.44）	C_{11}（7.43）
济南市	C_4（14.38）	C_{14}（12.20）	C_{10}（10.58）	C_{15}（10.60）	C_8（10.16）
淄博市	C_8（10.60）	C_4（10.48）	C_{14}（8.23）	C_3（7.57）	C_{15}（7.43）
东营市	C_8（10.69）	C_4（10.23）	C_{14}（8.17）	C_3（7.98）	C_{10}（7.79）
济宁市	C_8（10.60）	C_4（9.93）	C_{14}（8.37）	C_{15}（8.35）	C_{11}（7.64）
泰安市	C_8（10.34）	C_4（9.82）	C_{14}（8.66）	C_{15}（8.31）	C_{11}（7.24）
临沂市	C_8（10.67）	C_4（10.27）	C_{15}（8.39）	C_3（7.65）	C_1（7.44）
德州市	C_8（10.52）	C_4（9.85）	C_{14}（8.42）	C_{15}（8.06）	C_3（7.37）
聊城市	C_8（10.07）	C_4（9.42）	C_{14}（8.29）	C_{15}（7.72）	C_3（7.32）
滨州市	C_8（10.57）	C_4（10.24）	C_{14}（8.49）	C_3（7.72）	C_1（7.53）
菏泽市	C_8（10.26）	C_4（9.50）	C_{14}（8.17）	C_{11}（7.65）	C_{15}（7.40）

点培养城市所需的技术人才,同时加强对高质量创新人才的吸引能力,政府要采取一系列人才引进措施并加大对上游地区的支持力度以改善教育资源分配不平衡问题。另一方面不断提高基础设施建设,提升交通、物流、生产服务等方面的配套条件,提高城市整体的环境服务能力。中下游地区的产业为顺应区域比较优势的变化会将产业向上游段发展中区域转移,这为上游段城市的发展提供了良好的机遇。

(2) 中游地区发挥桥梁作用,连通上、下游城市,以缩小差距协调发展。黄河流域城市的创新能力分布处于较不均衡状态,存在较大的空间差异,东南高西北低,下游强上游弱,且空间关联格局上低-低集聚类型的城市数量最多。因此,落后地区本身发展水平低,能被分配到的资源相应的也更少,不能让黄河流域创新能力发展失衡的格局被固化,对于中游段城市来说,要依靠区位优势不断发挥桥梁作用,建立四通八达的城市交通网络,连接上、下游城市,发挥下游地区的带动作用,以使黄河流域整体的城市创新能力发展趋于协调。

(3) 对于下游创新能力良好的地区来说,企业要不断提高自主创新能力,并向上游地区输送先进技术、人才与思想。对于该区域实力较强的企业来说,如果想长期持久地发展进步不被时代淘汰,就需要不断进行科技创新并注重科技研发能力,成为科技创新的主要载体。因此,要采取切实有效的措施手段加大各城市企业科研资金、科技人才的投入,比如政府对企业R&D经费的支持,以及一系列税收激励措施,引导企业重视科技创新,同时加强企业进行科技研发的自主性,形成创新意识。

4.2 结论

(1) 从城市创新能力得分来看,黄河流域城市创新能力有着上游、中游、下游的阶梯式递增趋势,且省会城市与其他城市在创新能力方面的差距显著。根据城市的创新能力发展水平,我们认为黄河流域大部分城市还没有进入到使科技创新成为经济社会高质量发展核心驱动力的阶段。

(2) 从空间分布格局表现来看,黄河流域城市创新能力呈现东南高西北低的显著分异特征,东南部已经形成高值集聚片区,而西北部总体创新能力不强,且少数高值城市对周边城市的带动作用不明显,极化效应明显大于涓滴效应,各种人力、技术资源向高值城市输送,而高值城市向周边城市的反馈比较弱。

(3) 从空间差异及集聚特征表现来看,空间差异方面,黄河流域整体创新能力分布较不均衡,创新资源分配不协调,这也应证了上述结论,这种不协调不均衡的分布状态必然会阻碍黄河流域各城市的高质量发展。集聚特征方面,各城市在创新能力方面存在正向的空间关联,但低-低集聚区占主导地位,高-高集聚区仅有一个,省会城市在发展过程中不可避免的会吸收周边城市的各种生产要素,但是一旦强者越强、弱者越弱的局面愈演愈烈就需要政府的出面干预。

参考文献(References)

[1] 黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要[N]. 人民日报, 2021-10-09(001). [Outline of the plan for the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[N]. People's Daily, 2021-10-09(001).]

[2] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 奋斗, 2019(20): 4-10. [Xi Jinping. Speech at the symposium on ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Strive, 2019(20): 4-10.]

[3] Landry C. The creative city: A toolkit for urban innovators[M]. Oxfordshire: Earthscan, 2012.

[4] Florida R. The rise of the creative class and how it's transforming work, life, community and everyday life[M]. New York: Basic Books, 2004: 434.

[5] Simmie J, Martin R. The economic resilience of regions: Towards an evolutionary approach[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1): 27-43.

[6] 范柏乃, 单世涛, 陆长生. 城市技术创新能力评价指标筛选方法研究[J]. 科学学研究, 2002, 20(6): 663-668. [Fan Bonai, Shan Shitao, Lu Changsheng. An empirical study of evaluation system of the urban technology innovation capability[J]. Studies in Science of Science, 2002, 20(6): 663-668.]

[7] 乔章凤, 周志刚. 城市科技创新能力评价及实证研究[J]. 西安电子科技大学学报(社会科学版), 2011, 21(3): 62-67. [Qiao Zhangfeng, Zhou Zhigang. Evaluation and empirical study on city scientific and technological innovation ability[J]. Journal of Xidian University (Social Science Edition), 2011, 21(3): 62-67.]

[8] 张建伟, 窦攀烽, 张永凯, 等. 江苏省县域创新产出的空间计量经济分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 222-229. [Zhang Jianwei, Dou Panfeng, Zhang Yongkai, et al. Spatial econometric analysis of innovation output of Jiangsu Province in terms of county scale[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(1): 222-229.]

[9] 谢科范, 张诗雨, 刘骅. 重点城市创新能力比较分析[J]. 管理世

界, 2009(1): 176−177. [Xie Kefan, Zhang Shiyu, Liu Hua. A comparative study on the ability of innovation in key cities[J]. Journal of Management World, 2009(1): 176−177.]

[10] 倪鹏飞, 白晶, 杨旭. 城市创新系统的关键因素及其影响机制——基于全球436个城市数据的结构化方程模型[J]. 中国工业经济, 2011(2): 16−25. [Ni Pengfei, Bai Jing, Yang Xu. The key factors and mechanism of city innovation system: Based on the SEM with the data of 436 sample cities worldwide[J]. China Industrial Economics, 2011(2): 16−25.]

[11] 段利忠, 刘思峰. 灰色聚类分析法评价城市创新能力[J]. 北京工业大学学报, 2003, 29(4): 508−512. [Duan Lizhong, Liu Sifeng. Appraisement of city innovation ability by gray cluster analysis[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2003, 29(4): 508−512.]

[12] 张立柱, 郭中华, 李玉珍. 山东省城市创新能力评价及"四大创新圈模式"构建[J]. 科学学与科学技术管理, 2006, 27(6): 75−79. [Zhang Lizhu, Guo Zhonghua, Li Yuzhen. Evaluation of city innovation ability and the construction of "four major innovation circle mode" in Shandong[J]. Science of Science and Management of S.& T., 2006, 27(6): 75−79.]

[13] 周灿, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市创新网络结构与创新能力研究[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1297−1308. [Zhou Can, Zeng Gang, Cao Xianzhong. Chinese inter-city innovation networks structure and city innovation capability[J]. Geographical Research, 2017, 36 (7): 1297−1308.]

[14] 曾刚, 胡森林. 技术创新对黄河流域城市绿色发展的影响研究[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1314−1323. [Zeng Gang, Hu Senlin. Impact of technological innovation on urban green development in the Yellow River Basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41 (8): 1314−1323.]

[15] 武晓静, 杜德斌, 肖刚, 等. 长江经济带城市创新能力差异的时空格局演变[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4): 490−499. [Wu Xiaojing, Du Debin, Xiao Gang, et al. The temporal and spatial evolution of city innovation capability differences in the Yangtze River Economic Belt on the numbers of patents[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(4): 490−499.]

[16] 徐维祥, 杨蕾, 刘程军, 等. 长江经济带创新产出的时空演化特征及其成因[J]. 地理科学, 2017, 37(4): 502−511. [Xu Weixiang, Yang Lei, Liu Chengjun, et al. Temporal-spatial evolution characteristic and its causes of innovation output in the Yangtze River Economic Belt[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(4): 502−511.]

[17] 曹玉华, 夏永祥, 毛广雄, 等. 淮河生态经济带区域发展差异及协同发展策略[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 213−221. [Cao Yuhua, Xia Yongxiang, Mao Guangxiong, et al. Research on regional development difference and collaborative development strategy of the Huaihe River Eco-economic Belt[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 213−221.]

[18] 谭俊涛. 黑龙江省城市创新能力差异与提升路径研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014. [Tan Juntao. Innovation capability of cities in Heilongjiang Province and enhance path[D]. Changchun: Chinese Academy of Sciences (Northeast Institute of Geography and Agroecology), 2014.]

[19] 陶雪飞. 城市科技创新综合能力评价指标体系及实证研究[J]. 经济地理, 2013, 33(10): 16–19. [Tao Xuefei. Evaluation index system of a city's comprehensive ability of S & T innovation[J]. Economic Geography, 2013, 33(10): 16−19.]

[20] 朱喜安, 魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2): 12−15. [Zhu Xi'an, Wei Guodong. Exploration of the excellence criteria of the dimensionless method in the entropy value method[J]. Statistics & Decision, 2015(2): 12−15.]

[21] Griffith D A. Spatial autocorrelation: A primer[M]. Washington: Association of American Geographers, 1987.

[22] 薛宝琪. 黄河流域城市创新能力时空格局及影响因素[J]. 中国沙漠, 2022, 42(6): 116−124. [Xue Baoqi. Spatial-temporal characteristics of urban innovation capability and impact factors analysis in the Yellow River Basin[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42 (6): 116−124.]

[23] 任贵秀, 刘凯. 黄河流域绿色创新的时空演化特征及影响因素分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(1): 158−169. [Ren Guixiu, Liu Kai. Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of green innovation in the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(1): 158−169.]

Measurement and spatial differentiation of innovation capacity of cities in Yellow River Basin

WU Shang, ZHAI Bin, CHENG Lisha

(College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475000, Henan, China)

Abstract: Innovation occupies a central position in the overall situation of national modernization, and cities are the main areas where innovation activities are performed. Thus, scientific measurement of urban innovation capacity is critical for improving the competitiveness of cities and formulating innovation strategies. Taking 48 cities in the Yellow River Basin as research objects, we constructed a city innovation evaluation index system based on four dimensions: talent cultivation capacity, scientific and technological research and development capacity, economic support capacity, and environmental service capacity. We measured the innovation capacity of these cities using the entropy weight method, Jenks natural breaks classification method, Gini coefficient, Moran's *I* index, and other data analysis methods. The spatial differentiation of the innovation level of these cities and the main obstacle factors were analyzed. The results are as follows: (1) The overall innovation capacity of the Yellow River Basin is not high, the score gap between a few high-value cities and the rest of the cities is significant, and the innovation capacity shows the trend of stepwise increment in the upper, middle, and lower reaches. (2) Taking Shuozhou-Longnan as a line, the urban innovation capacity shows a distribution of high in the southeast and low in the northwest, and the spatial distribution of each dimension tends to be consistent with the total innovation capacity. (3) The distribution of urban innovation capacity in the Yellow River Basin is in an unbalanced state, and the spatial agglomeration characteristics show positive spatial correlations, mainly belonging to the spatial pattern of low-value agglomeration. (4) The scientific and technological research and development capacity and talent cultivation capacity have a greater degree of influence on the improvement of the innovation capacity of the cities, where the number of effective inventions is a common obstacle indicator for all cities.

Key words: innovation capacity measurement; spatial differentiation; degree of obstacle; Yellow River Basin